



# Las bases materiales del sector exportador chileno: un análisis input-output

**Pablo Muñoz Jaramillo**

Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental, Universidad Autónoma de Barcelona, España  
[pabloandres.munoz@campus.uab.es](mailto:pabloandres.munoz@campus.uab.es)

**Jordi Roca Jusmet**

Departamento de Teoría Económica, Universidad de Barcelona, Barcelona, España

Fecha de recepción: 03/05/2006. Fecha de aceptación: 22/08/2006

## Resumen

El objetivo principal de este estudio ha sido reatribuir los materiales que extrajo la economía chilena en el año 1996 de acuerdo a la demanda final extranjera. Para ello se utilizó una metodología input-output (IO). En 1996 la economía chilena requirió 500 millones de toneladas de inputs de materiales directos (IMD). Los resultados encontrados indican que el sector exportador de Chile, que representó el 38% del PIB en 1996, demandó en total 399 millones de toneladas (80%) de los IMD que ingresaron a la economía. La industria del cobre en particular fue responsable de 316 de las 399 millones de toneladas de IMD. Estos resultados indican que si bien el sector externo de la economía chilena ha sido el motor del crecimiento económico, es necesario remarcar también que éste utilizó el 80% de los IMD que ingresaron en la economía. Sin duda, ésta es sólo una de las cargas ambientales asociadas a las exportaciones chilenas intensivas en recursos naturales.

**Palabras clave:** Contabilidad y análisis de flujos de materiales, metodología insumo-producto, comercio internacional, Chile, recursos naturales.

## Abstract

This study aims to reattribute the materials that were used by Chilean economy in 1996 according to its foreign final demand. An input-output (IO) methodology has been applied. In 1996 the Chilean economy requested 500 million tons of direct material inputs (DMI). The results showed that the exporting sector of Chile, which represented 38% of the GDP in 1996, used a total of 399 million tons of the DMI incorporated into the economy. The foreign final demand of copper commodity was responsible for 316 of the 399 million tons of DMI. These findings indicated that if the external sector of Chilean economy was a motor of economic growth, we needed to highlight the fact that it represented 80% of direct material flow that was used by the economy. Without doubt, these are only a few of the environmental load associated to the intense exportation of natural resources in Chile.

**Key words:** Material flow accounting and analysis (MFA), input-output methodology, international trade, Chile, natural resources.



## 1. Introducción

Las raíces del actual modelo económico neoliberal en Chile se remontan a la dictadura militar del General Pinochet (1973-1989). En esos años, las políticas económicas del régimen hicieron énfasis en diversificar y promover las exportaciones, crear condiciones favorables para la inversión extranjera directa y reducir gradualmente los aranceles a las importaciones que disminuyeron desde un promedio del 35% (1984) a un 11% (1991). Después de la dictadura, las medidas de política económica profundizaron en la misma dirección ya sea por medio de tratados de libre comercio o como miembro asociado a bloques económicos. En la actualidad, el valor monetario de las exportaciones representa el 40% del PIB chileno, mientras que a principios de los 70's este porcentaje estaba en torno al 10%. Si bien en 1975 y 1982 la economía chilena sufrió dos crisis económicas, a finales de los ochenta y durante los noventa se experimentó un fuerte y prolongado periodo de crecimiento económico, con una tasa promedio del 6% anual. En el lapso que va desde 1989 al 2000, el PIB se duplicó (Banco Central 2001a).

Actualmente, Chile continúa integrándose en los mercados globales y reafirmando sus políticas a favor de un crecimiento económico que tiene como primordial motor las exportaciones. Se trata en realidad de exportaciones intensivas en recursos naturales: en el año 2000, aproximadamente un 60% del valor de las exportaciones eran materias primas, principalmente cobre (40%). El resto de las exportaciones (40%) estuvo representado mayoritariamente por productos de la industria manufacturera derivados directos de los recursos naturales con algún grado de elaboración.

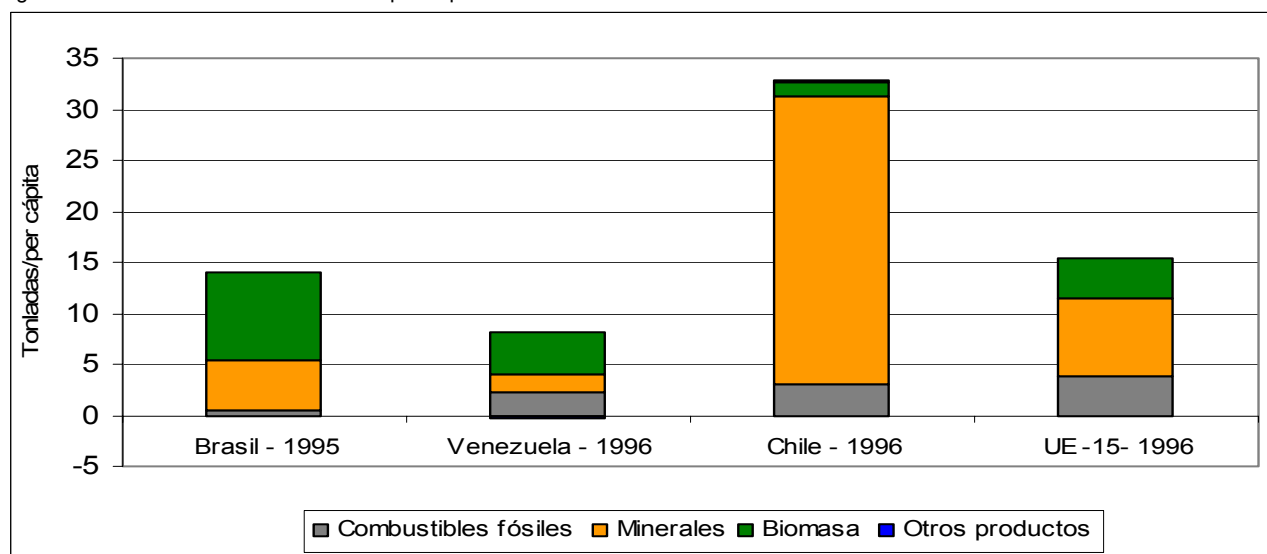
En relación al medio ambiente y los recursos naturales en Chile, diversas investigaciones (Quiroga et al. 1996; Altieri 1999; Larrain et al. 2003; otras) han alertado sobre los cambios provocados en el medio ambiente debido a las actividades productivas, lo que también viene denunciado por organizaciones

ambientalistas (Instituto de Ecología Política, RENACE, Programa Chile Sustentable, entre otros). Las investigaciones mencionadas anteriormente destacan que una parte importante de los daños causados en el medio ambiente están vinculados a las actividades económicas desarrolladas por el sector exportador: extracción de cobre, pesca extractiva, silvicultura, agricultura y fabricación de papel. Entre los temas en materia de medio ambiente que han generado más preocupación están la pérdida de biodiversidad, la contaminación de lagos y ríos, y los conflictos ambientales generados por las crecientes demandas energéticas experimentadas por los distintos sectores económicos.

Los hechos llevan a reflexionar sobre dos objetivos que entran en conflicto de forma muy importante en el caso chileno: el económico y el ambiental. Dejamos de lado en el presente artículo la importante cuestión de los aspectos sociales, aunque, sólo a modo de dato, cabe mencionar que Chile ha sido evaluado como una de las 10 economías más desiguales del mundo, en cuanto a distribución del ingreso se refiere (Naciones Unidas 2004). El problema no es tanto que la economía crezca como que lo haga ligado a una explotación intensiva de los recursos naturales y ambientales. Cuando la economía crece necesariamente requiere extraer del medio ambiente energía y materiales, lo que crea un vínculo inherente economía-ambiente (Arrow et al., 1995), pero es una cuestión abierta el grado en que en cada etapa y lugar si ambas dimensiones están directamente ligadas o si se está produciendo una desconexión (*delinking*) entre el medio ambiente y las actividades económicas, lo que técnicamente se ha denominado "desmaterialización", haciendo referencia con este término al posible uso decreciente de materiales y energía por parte de los procesos productivos, o si por el contrario el uso de materiales y energía es cada vez más intensivo. Dentro de los factores que determinan el grado en que ambas dimensiones se relacionan están la estructura de producción y las tecnologías utilizadas.



Figura 1. Consumo de materiales directo per cápita



Fuente: Machado J.A. 2001; Castellano 2001; Giljum 2004; Eurostat 2002

En cuanto a los flujos de materiales, actualmente varias naciones cuentan con estimaciones de los materiales requeridos por sus economías. En el caso de Sudamérica, Brasil, Chile y Venezuela cuentan con este tipo de estimaciones. Para Chile las estimaciones fueron realizadas para los años 1973-2000. Los resultados de dicha investigación indican que los requerimientos de la economía chilena en 1973 eran de 102 millones de toneladas de inputs de materiales directos<sup>1</sup> (IMD), mientras que en el año 2000 la cifra aumentó a 713 millones de toneladas (Giljum 2004). En casi tres décadas, los requisitos de materiales se multiplicaron por 7, mientras que el indicador macroeconómico convencional, el PIB, se multiplica aproximadamente por 3 (de 13.775 a 44.023 M. US\$ dólares de 1986). Las cifras muestran, por tanto, que se estaría en el caso de una economía que se está materializando, y no sólo en términos absolutos –que es lo relevante ambientalmente- sino también en términos relativos: es decir, se estaría necesitando en cada periodo una mayor cantidad de materiales por unidad de producción. Si se compara el consumo de materiales directo<sup>2</sup> (CMD) de Chile en relación a Brasil y Venezuela, las cifras

continúan revelando que Chile hace un uso intensivo de su medio natural (ver figura 1). La relación entre Chile y la Unión Europea no difiere de la anterior; un ciudadano chileno consume el doble de materiales directos per cápita que un europeo. Gran parte de la explicación a este fenómeno viene dada por la minería del cobre. Para obtener una tonelada de cobre es necesario que ingresen al sistema socioeconómico del orden de 107 toneladas de minerales (Giljum 2004).

El objetivo general del presente estudio consiste en dimensionar físicamente las presiones que ejercen las actividades económicas sobre el medio ambiente cuando elaboran sus productos, con la finalidad de discernir qué parte de los materiales requeridos por la economía chilena obedecen a demandas finales domésticas y qué porcentaje obedece a demandas del sector externo (exportaciones). Aunque el indicador CMD ya excluye las exportaciones, la propuesta es medir no solamente las toneladas de materiales que salieron del país debido a las exportaciones, sino también considerar en las estimaciones las toneladas de materiales (“directos” ya que dejamos de lado los “ocultos”<sup>3</sup>) necesarios para la elaboración de los productos exportados. Ello

<sup>1</sup> En el cuadro 1 se presenta la definición de IMD.

<sup>2</sup> Para una definición de “consumo de materiales directo” ver cuadro 1.

<sup>3</sup> Para una definición de materiales ocultos ver en el siguiente apartado, cuadro 1.



proveerá evidencia empírica relevante para el debate sobre las relaciones entre el comercio internacional, el crecimiento económico y la presión ambiental. A su vez, comprender las interrelaciones entre las actividades económicas y el medio ambiente cobra relevancia para la elaboración de políticas sectoriales que pretendan integrar ambas dimensiones de un desarrollo sustentable.

En los apartados sucesivos se procede de la siguiente manera: en el apartado 2, se presenta el marco conceptual, explicitando el enfoque desde el cual se estudia el sistema socio-económico, así como exponiendo un marco de referencia para comprender las implicaciones del uso de materiales. En el apartado 3 se expone la metodología. Aquí, se introducen aspectos relativos a la técnica input-output en general y la aplicación de este método para el medio ambiente en particular. El apartado culmina con la exposición de los datos a utilizar. El apartado 4 expone los resultados de la investigación dimensionando el uso de materiales necesarios para la elaboración de los bienes y servicios que están destinados a la exportación. En el último apartado, se exponen la discusión y los comentarios finales del caso de estudio.

## 2. Marco de referencia

### 2.1 El metabolismo socio-económico

El presente apartado tiene por finalidad exponer un marco de referencia, desde la economía ecológica, que sirva de base para comprender las relaciones entre el sistema socio-económico y el sistema ambiental. Esta perspectiva estudia el sistema socio-económico físicamente inmerso en un sistema más amplio que lo contiene: el medio ambiente<sup>4</sup> (Georgescu-Roegen 1971; Ayres et al. 1969; Kapp 1976). A diferencia del pensamiento económico convencional, desde esta perspectiva, “el sistema socioeconómico es parte de la naturaleza y no la naturaleza

parte del sistema socioeconómico” (Baumgärtner et al 1996). El sistema<sup>5</sup> socio-económico necesita para su subsistencia y reproducción la entrada de flujos de materiales y energía los cuales provienen del medio ambiente. Por un lado, los materiales y la energía representan la fuente de escasez última del medio ambiente. Y por otro lado, gran parte de los impactos en el medio natural provienen de las emisiones que emanan de estas fuentes al ser transformadas.

El estudio del intercambio de materiales y energía entre ambos sistemas es lo que se ha denominado “metabolismo industrial” (Ayres et al. 1994) o “metabolismo social” (Fischer-Kowalski 1998). “El análisis del metabolismo de distintos sistemas socio-económicos proporciona un marco para distinguir entre sociedades según sus relaciones de intercambio con la naturaleza (Fischer-Kowalski et al. 2000). Además, el hecho de estudiar los sistemas socio-económicos a partir de los flujos de energía y materiales provee una dimensión biofísica del ritmo al cual se extraen los recursos del medio natural para satisfacer necesidades tanto endosomáticas como exosomáticas del sistema.

### 2.2 Contabilidad y análisis de flujos de materiales

Para contabilizar los materiales y la energía que extrae un sistema socioeconómico del medio ambiente se dispone de un marco metodológico reconocido internacionalmente y denominado “Contabilidad y Análisis de Flujos de Materiales”, MFA (por sus siglas en inglés, “*material flows accounting and analysis*”) o CFM por “*contabilidad de flujos de materiales*”. La idea subyacente de esta metodología es contabilizar tanto aquellos flujos de materiales que extrae la economía del medio ambiente nacional, como los que importa desde otras naciones.

<sup>4</sup> El sistema socioeconómico aparece como un subsistema del medio ambiente. Obviamente, como señala Haberl et al. 2004, ello no implica en absoluto que la sociedad puede ser reducida a un sistema biofísico. La sociedad también comprende importantes aspectos culturales, políticos, entre otros.

<sup>5</sup> El sistema socio-económico es posible definirlo a diferentes escalas espaciales: global, regional, nacional u otras. Teniendo en cuenta la finalidad del estudio, se definirá de acuerdo a los límites geográficos de un país.



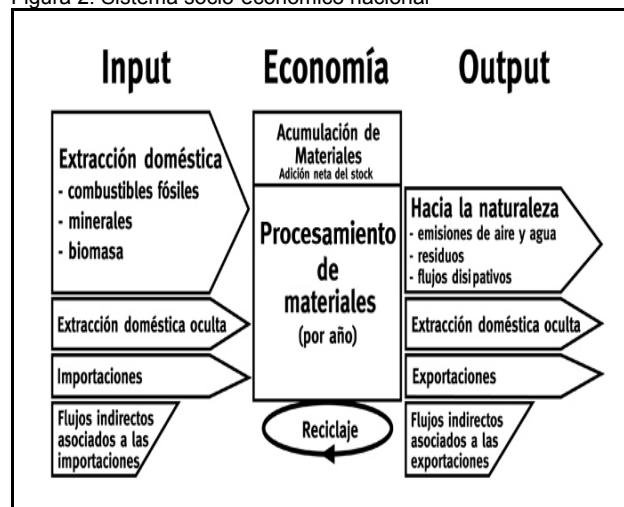
La CFM cuantifica en toneladas y para un periodo de tiempo la biomasa, minerales y combustibles fósiles que son extraídos por un sistema socioeconómico determinado. La masa de agua y aire utilizados son normalmente –como también en este estudio– excluidos de los agregados y en todo caso considerados separadamente. Como se puede apreciar, el concepto de materiales que se utiliza es en un sentido amplio ya que incluye también los materiales utilizados para obtener energía final (por poner un ejemplo se considera no sólo la madera utilizada para fabricar muebles o papel sino también la quemada para obtener energía)<sup>6</sup>.

Una vez que los materiales requeridos se incorporan al sistema socioeconómico son transformados en bienes y servicios en los procesos productivos. Una parte de los materiales que entra en el sistema serán retornados a la naturaleza en el mismo periodo en forma de emisiones y residuos. Otra parte será conservada durante una cantidad finita de tiempo como stock (edificios, máquinas, artefactos en uso y stock de animales así como también la población humana) que permanece dentro del sistema socio-económico. Al cabo de cierto tiempo los materiales que persistían como stock también serán devueltos a la naturaleza, pero en un estado degradado (Ayres et al. 1994) aunque una parte será reutilizada por el sistema económico lo que –a igualdad de circunstancias– reducirá la necesidad de nuevas entradas (ver figura 2)<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> La forma de agregar materiales en la CFM es en toneladas. En el caso de la energía, no se utiliza, por tanto, el contenido energético ya que una tonelada de, por ejemplo, carbón, cuenta lo mismo que una de petróleo; por otro lado, las fuentes energéticas como la hidroelectricidad, eólica o solar no se contabilizan en la CFM aunque sí en los análisis energéticos. En otro orden de cosas, cabe destacar que, la suma de los diferentes materiales no tiene en cuenta el impacto que podrían causar en el medio ambiente la distinta combinación de recursos que componen la CFM, puesto que suma lo mismo un kilogramo de arena que uno de mercurio.

<sup>7</sup> Para más detalle véase Eurostat, 2001. Véase también el importante estudio de Carpintero (2005).

Figura 2. Sistema socio-económico nacional



Fuente: Eurostat, 2001.

### 2.3 Indicadores derivados de la CFM

A partir de la contabilización de los materiales es posible derivar los indicadores que se deducen desde los inputs y los outputs del sistema. A continuación (cuadro 1) se presentan las definiciones utilizadas por Eurostat (2001) para los indicadores de inputs deducidos de la CFM, a algunos de los cuales ya nos hemos referido en la introducción y que serán de utilidad en las secciones posteriores de este estudio:

Cuadro 1. Indicadores de inputs derivados de la CFM

**Inputs de materiales directos (IMD):** está constituido por los materiales que entran en la economía. Es decir, todos aquellos materiales que poseen un valor económico y son usados en las actividades productivas y el consumo. IMD es igual a extracción doméstica más importaciones.

**Requerimientos de materiales totales (RMT):** incluye, además de los IMD, los flujos ocultos –o no usados– ligados a la extracción doméstica, es decir, los materiales que son removidos por las actividades domésticas, pero no sirven como inputs para la producción o el consumo. Además, en este indicador es necesario agregar también los flujos de materiales indirectos, que son aquellos flujos asociados a las importaciones –sus “mochilas ecológicas” en expresión de algunos autores– y que toman lugar en otros países.



**Consumo de materiales doméstico (CMD):** mide el total de materiales directos (es decir, excluyendo flujos ocultos e indirectos) usados en una economía. CMD es igual a IMD menos exportaciones de materiales directos.

**Balance comercial físico (BCF):** mide el déficit o superávit de comercio internacional en términos físicos. El BCF es igual a las importaciones menos las exportaciones de materiales directos. Éste puede ser definido también para flujos indirectos de materiales que están asociados a las exportaciones e importaciones.

Fuente: Eurostat 2001

### 3. Metodología Input-Output (IO)

#### 3.1 Aspectos generales

Con el propósito de comprender las dimensiones biofísicas de los sectores económicos y determinar qué parte de estas dimensiones sectoriales obedecen a demandas del sector externo, se ha empleado el método input-output<sup>8</sup> (IO) extendido a los recursos naturales. La esencia de la técnica IO fue propuesta por el economista Wassily Leontief en 1936 con la finalidad de comprender las interrelaciones sectoriales de una economía: “la idea es describir y explicar los niveles de producción (output) de cada sector de una economía dada, en término de sus relaciones de insumos (input) con el resto de los sectores” (Leontief 1970). Bajo ese principio, es posible contemplar en las estimaciones no sólo el uso “directo” de materiales que utilizan los procesos productivos en la fabricación de mercancías, sino también aquella cantidad “indirecta”<sup>9</sup> de recursos naturales que vienen “contenidos” en los inputs y también todos aquellos materiales necesarios para elaborar esos inputs, y así sucesivamente (limitando

<sup>8</sup> El análisis input-output también es conocido como insumo-producto.

<sup>9</sup> No se debe confundir aquí el término “indirecto” con los “flujos de materiales indirectos” tal como se entienden en la metodología de la CFM. El primero se refiere a los materiales utilizados por la economía que son necesarios para disponer de la demanda final de los diferentes tipos de bienes. El segundo hace mención a los flujos de materiales asociados a las importaciones y que se producen en otros países.

siempre nuestro estudio al conjunto de IMD). De esta manera, se puede re-atribuir la presión sobre el medio ambiente de acuerdo a la demanda final dirigida a cada sector o industria, y no atribuir dichas presiones ambientales de acuerdo al sector donde se produjeron.

La formalización matemática se comienza a desarrollar a partir de la inversa de Leontief que se presenta a continuación (en el anexo 1 se desarrolla cómo se deduce ésta):

$$3-1 \quad \mathbf{q} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{e}$$

Donde suponiendo una desagregación en  $m$  sectores o productos:

$\mathbf{q}$ : corresponde al vector de producción por producto. La dimensión es de  $m \times 1$ .

$\mathbf{e}$ : es el vector de demanda final por producto. La dimensión es de  $m \times 1$ .

$\mathbf{I}$ : corresponde a la matriz identidad. La dimensión es de  $m \times m$ .

$\mathbf{A}$ : corresponde a la matriz de coeficientes técnicos producto-x-producto. La dimensión es de  $m \times m$ .

$(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ : captura los efectos directos e indirectos que se producen en  $\mathbf{q}$ , a partir de cambios que se puedan generar en la demanda final,  $\mathbf{e}$ . La dimensión es de  $m \times m$ .

La ecuación 3-1 expresa la cantidad total de “outputs” que es necesaria producir para disponer de un vector de demanda final.

#### 3.2 Modelo IO de materiales

Hasta el momento se ha presentado el vínculo entre la demanda final y los requisitos totales de producción que posibilitan dicha demanda. La presente sección tiene por finalidad vincular los requerimientos totales de producción con los inputs de materiales (directos en el sentido de la CFM) que provienen de la naturaleza. Lo que se supone es que, para generar una unidad de producto, es necesario extraer una cierta cantidad de recursos del medio ambiente, en este caso materiales. Entonces, el primer paso consiste en desagregar los flujos de materiales que entraron en la economía de acuerdo al producto que los utilizó en forma directa. Si



se denomina “G” a la cantidad total de materiales que fue usada por la economía en un año determinado, entonces es posible desagregar “G” de acuerdo a los distintos productos que requirieron estos materiales, obteniendo así un vector de materiales desagregado, “g”. Luego, si se dividen los inputs de materiales directos y la producción total de los diferentes productos, “q”, entonces se tendría la cantidad de materiales utilizada por cada producto por unidad de producción, a partir de lo cual se puede definir el vector  $g^q$ :

$$3-2 \quad g^q = (g_1/q_1; g_2/q_2; \dots; g_m/q_m)$$

donde la dimensión de “ $g^q$ ” es de “ $m \times 1$ ”. Continuando con el análisis, el uso total de materiales en un año puede ser escrito como:

$$3-3 \quad G = g^q \cdot q$$

donde “ $g^q$ ” es el vector  $g^q$  transpuesto y por tanto la dimensión de “G” es  $1 \times 1$ . Posteriormente, si se sustituye en 3-3 “q” por “ $(I - A)^{-1} \cdot e$ ” según la ecuación 3-1, se tiene:

$$3-4 \quad G = g^q \cdot (I - A)^{-1} \cdot e$$

y diagonalizando “e” y “ $g^q$ ” se obtiene:

$$3-5 \quad G^* = \langle g^q \rangle \cdot (I - A)^{-1} \cdot \langle E \rangle$$

donde  $G^*$ , de dimensión  $m \times m$ , es la matriz de materiales, una vez re-atribuido el uso directo de éstos: es decir,  $G^*$  contiene el uso directo e indirecto de materiales contenidos en la demanda final de los productos. Como una propiedad de consistencia del modelo debería cumplirse que la cantidad total de materiales re-atribuida según la demanda final,  $G^*$ , sea igual al total de materiales G.

Puesto que el objetivo es dimensionar las demandas que corresponden a las exportaciones, entonces en  $\langle E \rangle$  se deben considerar sólo aquellos productos que obedecen a demandas extranjeras (exportaciones). La ecuación 3-5 es la pertinente para responder a la pregunta de investigación referida a los materiales contenidos en las exportaciones chilenas.

### 3.3 Los datos

Los datos utilizados corresponden al año 1996. El motivo que condicionó el estudio a

este periodo de tiempo se debe a que la última matriz IO para la economía chilena ha sido elaborada para ese año. Por tanto, los datos correspondientes a los materiales tuvieron que referirse también a ese año en particular. A continuación se describen cada uno de los grupos de datos.

**Tabla IO monetaria:** fue elaborada por el Banco Central de Chile para el año de estudio. Las unidades son millones de pesos chilenos del año 1996 (en el año 1996 en promedio 1 dólar = 464 pesos chilenos). En el presente estudio se utilizó la tabla IO que contiene las transacciones nacionales a precios básicos.

En estricto rigor no se disponía de la matriz de coeficientes técnicos “A”, sino de las matrices de utilización o absorción (*use matrix*) y la matriz de producción (*make matrix*). El uso de dichas matrices tiene la ventaja que permite abordar el problema de la producción secundaria que es común encontrarse en la realidad, y se manifiesta cuando una “industria” elabora un “producto” que es característico de otra industria o sector. Así, la diferencia entre los términos “producto” e “industria o sector” viene dado por la producción secundaria. Si bien las industrias son clasificadas de acuerdo a su producto representativo o producción primaria, la mayoría de las veces ciertas industrias fabrican bienes que son característicos de otras “industrias o sectores” (producción secundaria), entonces una industria podría producir más de un “producto”, o dicho contrariamente, un “producto” podría ser elaborado en distintas “industrias”. En el caso que no exista producción secundaria, la producción de cada “sector o industria” es igual a la producción primaria. La derivación matemática de la matriz de coeficientes técnicos abordando el problema de la producción secundaria se presenta en el anexo 2.

La tabla IO de 1996 es del tipo producto-por-industria<sup>10</sup>, es decir, presenta tanto una matriz de absorción como otra de producción, las cuáles están desagregadas en 73 productos

<sup>10</sup> Para un mayor detalle sobre tablas IO producto-por-industria ver Miller and Blair 1985: 149-175.



por 73 industrias. Sin embargo, la matriz IO fue agregada a 57 productos y 57 industrias para este caso de estudio.

**Materiales:** los datos utilizados en éste trabajo corresponde a las estimaciones efectuadas por Giljum (2004) para el año 1996. En dicha investigación se contabilizaron, entre otros flujos, los inputs de materiales directos (IMD) que es el indicador que se usará aquí representando a los materiales (G). Posteriormente, se procedió a desagregar los IMD de acuerdo a los productos que se consideran en la tabla IO, para hacer compatibles ambos sistemas de datos. Por tanto, los IMD quedaron desagregados en 57 productos.

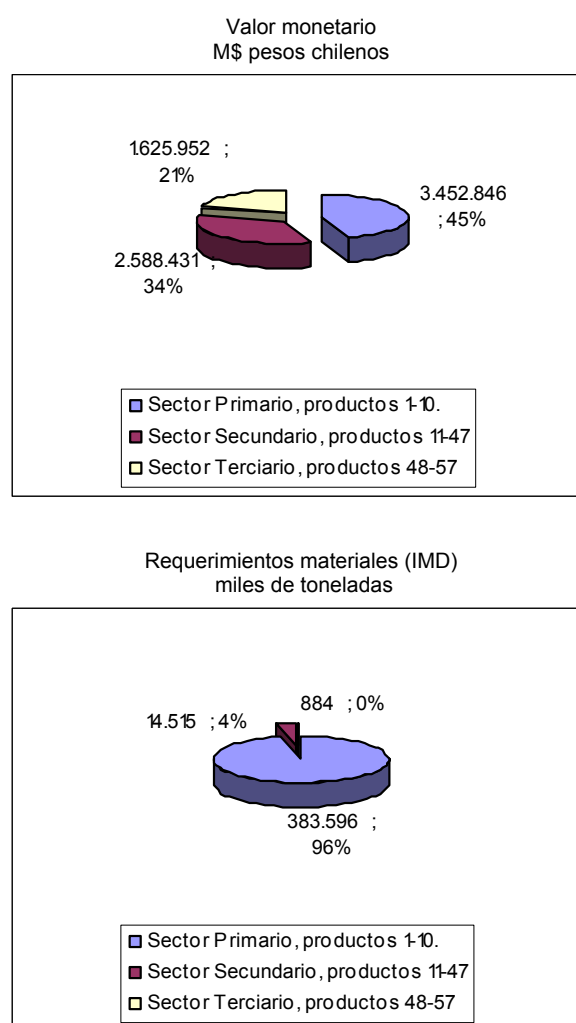
## 4. Resultados

### 4.1 Materiales contenidos en la demanda final del sector externo

Los resultados de ajustar la ecuación 3-5 son presentados en la tabla 1. La columna (1) de la tabla 1 muestra las intensidades de materiales en toneladas de IMD por unidad de producción, en este caso millones de pesos (M\$) chilenos del año 1996. Estas intensidades permiten entender un tanto más las presiones ambientales que se generan en la producción de los distintos bienes y servicios de una economía. A la luz de la evidencia empírica se aprecia que son muy distintas las demandas de materiales que genera un crecimiento económico basado en productos primarios (productos 1-10), secundarios (productos 11-47) o terciarios (productos 48-57), con intensidades promedios de 60,31 tons. IMD/M\$, 4,76 tons. IMD/M\$ y 2,02 tons. IMD/M\$, respectivamente. La columna (1) también revela información sobre aquellos sectores que no se dedican a la extracción de recursos naturales pero que a través de los insumos que adquieren (efecto indirecto) sí comportan elevadas demandas de materiales en comparación con el resto de los sectores. Ejemplos de ello podrían ser: Producción de carnes (cod. 11), Industria de la leche (cod. 15), Industria metales no ferrosos (cod. 42), etc.

En la columna (2) se muestran las exportaciones en unidades monetarias por producto. De ésta se deduce que el 45 % de los ingresos que recibe el país por concepto de exportaciones provienen del sector primario, es decir aquellos bienes que más materiales necesitan para generar una unidad de producción en términos monetarios. En términos materiales, requieren 383,59 millones de toneladas de IMD, 96% de los IMD contenidos en la demanda extranjera (ver figura 3).

Figura 3. Exportaciones en distintas unidades



Fuente: Elaboración propia.





Tabla 1: Intensidad de materiales, exportaciones monetarias y físicas por producto

Cod	Producto	Intensidades de Materiales	Exportaciones en unidades monetarias		Requerimientos materiales de las exportaciones en unidades físicas - IMD reatribuido (miles de toneladas) -					
		1	2		3					
		tons / M\$	(M\$ 1996)	%	Biomasa	Minerales	Com.Fósiles	Pdtos. Imp.	Total	%
1	Agricultura	15,67	50.938	0,7%	657	126	16	17	816	0,20%
2	Fruticultura	7,00	282.056	3,7%	1.570	348	56	69	2.043	0,51%
3	Ganadería	29,92	11.798	0,2%	342	9	2	1	354	0,09%
4	Silvicultura	46,80	44.947	0,6%	2.091	9	4	1	2.104	0,53%
5	Pesca Extrac.	18,10	78.870	1,0%	1.392	21	15	6	1.434	0,36%
6	Extrac. Carbón	66,59	17	0,0%	0	0	1	0	1	0,00%
7	Extrac. Petróleo-Gas	57,24	398	0,0%	0	0	23	0	23	0,01%
8	Hierro	112,88	61.082	0,8%	5	6.877	13	13	6.908	1,73%
9	Cobre	127,15	2.482.263	32,4%	157	315.015	445	575	316.192	79,25%
10	Otras act. mineras	121,72	440.478	5,7%	42	53.495	79	105	53.721	13,46%
11	Prod. carnes	15,79	17.251	0,2%	262	8	2	1	273	0,07%
12	Ind. pesquera	6,66	625.706	8,2%	3.867	193	107	31	4.197	1,05%
13	Elab. conservas	4,48	225.181	2,9%	759	206	43	26	1.034	0,26%
14	Elab. de Aceite	3,77	19.875	0,3%	66	6	2	1	76	0,02%
15	Ind. Leche	10,15	12.989	0,2%	122	7	3	1	133	0,03%
16	Molinería	5,47	6.603	0,1%	29	6	1	1	37	0,01%
17	Alimentos animales	4,35	3.761	0,0%	13	2	1	0	17	0,00%
18	Panaderías	3,72	19.066	0,2%	57	11	3	1	72	0,02%
19	Azúcar	7,53	5.675	0,1%	30	12	1	1	44	0,01%
20	Pdtos. alimenticios div.	2,71	115.559	1,5%	193	99	21	23	336	0,08%
21	Elab. alcoholes y licores	2,31	663	0,0%	1	0	0	0	2	0,00%
22	Elab. vinos	1,97	121.672	1,6%	173	56	11	12	252	0,06%
23	Elab. Cerveza	1,76	7.777	0,1%	6	5	3	0	14	0,00%
24	Elab. Beb. no alcohólicas	1,61	1.323	0,0%	1	1	0	0	2	0,00%
25	Elab. Pdtos. del tabaco	2,17	8.046	0,1%	12	5	1	0	18	0,00%
26	Productos textiles	0,64	46.118	0,6%	9	12	8	21	50	0,01%
27	Prendas de vestir	0,47	26.707	0,3%	5	5	3	4	17	0,00%
28	Cuero y sus productos	2,17	3.901	0,1%	7	1	1	0	9	0,00%
29	Fabr. Calzado	0,88	10.728	0,1%	7	2	1	3	12	0,00%
30	Prod. madera y sus pdtos.	8,84	278.800	3,6%	2.336	93	35	31	2.495	0,63%
31	Fabr. Papel	3,66	371.389	4,8%	1.192	101	67	50	1.410	0,35%
32	Imprentas y editoriales	0,77	58.043	0,8%	30	11	4	8	52	0,01%
33	Elab. Combustible	3,58	32.778	0,4%	1	13	103	0	118	0,03%
34	Pdtos. químicos básicos	5,95	82.906	1,1%	11	294	188	55	548	0,14%
35	Pdtos. Químicos	0,64	65.720	0,9%	14	22	7	41	83	0,02%
36	Productos de caucho	0,50	27.260	0,4%	3	7	4	7	21	0,01%
37	Fab. plástico	0,78	20.807	0,3%	4	10	2	19	35	0,01%
38	Fab. vidrio y sus pdcos.	2,51	3.445	0,0%	0	8	1	1	10	0,00%
39	Fab. minerales no metálicos	11,26	12.939	0,2%	2	141	3	6	151	0,04%
40	Ind. hierro y acero	7,11	37.118	0,5%	3	249	12	2	266	0,07%
41	Ind. metales no ferrosos	28,49	69.963	0,9%	5	1.978	11	5	1.998	0,50%
42	Fab. Pdtos. metálicos	3,19	45.155	0,6%	6	134	4	5	149	0,04%
43	Fab. maquinaria no eléctrico	1,92	66.191	0,9%	7	113	7	15	142	0,04%
44	Fab. Maquinaria eléctrica	12,47	20.190	0,3%	2	247	3	3	255	0,06%
45	Fab. de equipo de transporte	0,84	82.434	1,1%	9	56	5	26	95	0,02%
46	Fabricación de muebles	2,24	16.923	0,2%	29	8	2	3	41	0,01%
47	Otras ind. manufactureras	2,69	17.765	0,2%	4	38	5	1	49	0,01%
48	Suministro de electricidad	2,09	-	0,0%	-	-	-	-	-	0,00%
49	Suministro de gas	9,91	-	0,0%	-	-	-	-	-	0,00%
50	com-servicios	0,66	866.526	11,3%	257	253	62	41	612	0,15%
51	Construcción	4,01	-	0,0%	-	-	-	-	-	0,00%
52	Transporte ferroviario	0,84	7.052	0,1%	1	3	2	0	6	0,00%
53	Otro tporte. Terres. Pasajeros	0,79	2.597	0,0%	0	1	1	0	2	0,00%
54	Transporte camionero carga	0,78	49.692	0,6%	6	13	20	2	41	0,01%
55	Transporte marítimo	0,25	485.737	6,3%	47	48	26	9	130	0,03%
56	Transporte aéreo	0,37	208.930	2,7%	15	32	30	12	89	0,02%
57	Administración pública	0,51	5.418	0,1%	1	1	0	0	3	0,00%
Suma total		promedio 14, 02	7.667.228	100%	15.856	380.413	1.468	1.257	398.995	100%

Fuente: Elaboración propia



En la columna (3) se presentan los IMD totales re-atribuidos de acuerdo a la demanda final extranjera para cada uno de los productos de la economía chilena. Esta columna muestra las toneladas correspondientes a los IMD contenidos en el total de los productos exportados para el año de estudio, 1996 y su distribución sectorial. También se exponen los materiales contenidos en cada producto según la combinación requerida de: biomasa, minerales, combustibles fósiles y productos importados.

## 5. Discusión y comentarios finales

Los resultados hallados permiten discutir temas relativos a la CFM y el análisis IO. En este caso de estudio ambas metodologías enseñan perfiles distintos, pero a la vez complementarios de un sistema socioeconómico. Por un lado, la CFM presenta de una manera agregada los materiales que ingresan a la economía describiendo el metabolismo del sistema en estudio. Las estimaciones sobre el uso de materiales a las que se llega desde la CFM nacen normalmente de la agregación de materiales que han extraído las industrias del sector primario de la economía y de las importaciones del sistema. Por otro lado, desde la óptica IO la atención es puesta desde el lado de la demanda final, la cual se analiza de una manera desagregada de acuerdo a los distintos productos que se elaboran dentro del sistema socioeconómico.

Cuando el análisis se limita a los inputs "directos" -como, por disponibilidad de datos, es bastante habitual- el indicador que suele utilizar la CFM para tener en cuenta la posición internacional es el denominado "consumo material directo", CMD. Este indicador suma las importaciones y resta las exportaciones con la idea de hacer "responsables" de ellas a los países importadores. Sin embargo, si el análisis se queda en este punto, el indicador puede en algunas situaciones conducir a interpretaciones alejadas de la realidad. La razón es que existen ciertos casos, como es el de la economía chilena actual, donde dejar

de lado los materiales que permanecen dentro del sistema, pero que fueron necesarios para elaborar los productos exportados, puede representar tener una medida alejada de las necesidades materiales que representan las exportaciones. Tales materiales aquí han sido medidos por medio de un enfoque input-output.

Si se observa lo ocurrido en el terreno empírico, se puede apreciar que las exportaciones físicas medidas a través de la CFM mostraban que salían del país por concepto de exportaciones 26 millones de toneladas de materiales directos (Giljum 2004). Sin embargo, del análisis IO se deriva que las exportaciones chilenas, considerando ambos efectos, el directo y el indirecto, contienen un total de 399 millones de toneladas de materiales. Si se restan las exportaciones que físicamente salieron del país (26 millones de toneladas materiales directos), entonces es posible decir que 373 millones de toneladas fueron necesarias para elaborar los productos exportados, y no han sido consideradas en el indicador CMD o BCF, pero que sí deberían tenerse en cuenta en el momento de comprender las presiones ejercidas por el sector externo. En promedio y -para tener idea del orden de magnitud- se estima que por cada tonelada que salió del país en forma de exportación, fueron necesarias 14 toneladas adicionales de materiales en forma de insumos. Los resultados permiten también reconsiderar las toneladas de materiales consumidas por persona en Chile (ver figura 1). Las estimaciones reportaban que en Chile el CMD por persona era de 33 toneladas en el año de estudio. Las nuevas estimaciones reportarían que se consumirían del orden de 7 toneladas/persona de materiales: este resultado proviene de sustraer a la extracción doméstica (478,31 M. toneladas de IMD) las 398,99 millones de toneladas "contenidas" en las exportaciones, agregar las importaciones (21.90 M. toneladas de IMD) y dividir por la población en Chile (14,41 millones). Aunque aquí lo que no se ha tenido en cuenta y se debe considerar, es que en las 7 toneladas de materiales directos consumidos por



persona en Chile no se están contemplando los requisitos de materiales que fueron necesarios para producir las importaciones que realiza Chile y que toman lugar en otros países. Este hecho aumentaría la responsabilidad de Chile sobre sus niveles de consumo. Por lo tanto, la información que se dispone es incompleta para referirse a un “consumo de materiales directo” o un “balance comercial físico” estimado desde una perspectiva input-output; sin embargo, con toda probabilidad –aunque se tendría que demostrar calculando también los inputs “directos” utilizados en otros países para producir las importaciones chilenas– el consumo de materiales per capita responsabilidad de los chilenos aunque elevado es inferior al de la Unión Europea. Por otro lado, aún más relevante, sería contar con estimaciones de los diversos flujos “ocultos” de materiales que ni siquiera tienen un valor económico y que aquí –por ausencia de datos– no han sido considerados en absoluto.

Además, la naturaleza de este estudio ha permitido comprender –utilizando y relacionando distintas unidades de medición, monetaria y física– aspectos del crecimiento económico que pueden quedar olvidados. Las cifras muestran que, si bien las exportaciones de Chile representaron el 38% PIB en el año 1996, hay que considerar por otro lado, que obtener dicho ingreso tuvo un “costo” equivalente al 80% (398,99 M. toneladas) de los IMD. El 20% restante de los IMD que ingresaron a la economía (101,21 M. de toneladas) obedecieron a demandas de la economía doméstica, que generaron el 62% restante de los ingresos del país (una vez más, faltaría agregar las responsabilidades materiales de las importaciones). Los resultados encontrados invitan a reflexionar sobre la forma que toma el vínculo comercio internacional, crecimiento económico y medio ambiente en Chile. Por un lado y desde una perspectiva ambiental, se da una clara exportación de exergía: la gran mayoría de los productos exportados obedecen al sector primario de la economía, los cuales se caracterizan por un elevado potencial productivo y escaso valor agregado. Al mismo

tiempo el incremento de la entropía toma lugar: en el caso del cobre es necesario remover inmensas masas de suelo y mineral para elaborar los niveles actuales de producción de cobre. Por otro lado y desde una perspectiva económica, es el mismo comercio internacional el que conduce, supuestamente, a una asignación eficiente de los recursos y la posibilidad de optar a mayores ingresos. Sin duda, dos posiciones en total desarmonía para el caso de Chile.

### Agradecimientos

Quisiéramos agradecer los valiosos comentarios realizados por los evaluadores a versiones precedentes de este artículo.

### Referencias

- Altieri, M. y A. Rojas. 1999. Ecological impacts of chile's neoliberal policies, with special emphasis on agroecosystems. *Environment, Development and Sustainability* Vol. 1:55–72.
- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C., Jansson, B., Levin, S., Mäler, K., Perrings, C. y D. Pimentel., 1995. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics* Vol. 15:91–95.
- Ayres, R. y A. Kneese., 1969. Production, consumption and externalities. *American Economic Review* 59:282–297.
- Ayres, R. y U. Simonis. 1994. *Industrial Metabolism, Restructuring for Sustainable Development*. Tokyo, New York, Paris: United Nations University Press.
- Banco Central de Chile. 2001a. Indicadores económicos y sociales de Chile 1960-2000. Banco Central de Chile, Santiago de Chile.
- Banco Central de Chile. 2001b. Matriz de insumo-producto de la economía chilena 1996. Banco Central de Chile, Santiago, Chile.
- Baumgärtner, S., Faber, M. y Proops, J. 1996. The use of the entropy concept in ecological economics, en Faber, M.; R. Manstetten y J. Proops (eds) *Ecological economics: Concepts and Methods*. Cheltenham. Edward Elgar.
- Carpintero, O. 2005. El metabolismo de la economía española. Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000). Fundación César Manrique, Lanzarote.
- Casler, S., y S. Wilbur. 1984. Energy input-output analysis. A Simple Guide.
- Resources and Energy 6:187-201.
- Castellano, H. 2001. Material Flow Analysis in Venezuela. Internal Report (unpublished). Caracas.



Eurostat, 2001. Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide. Luxembourg: Statistical Office of the European Union.

Eurostat. 2002. Material use in the European Union 1980-2000. Indicators and Analysis. Luxembourg: Eurostat, Office for Official Publications of the European Communities, prepared by Weisz, H., Fischer-Kowalski, M., Amann, C., Eisenmenger, N., Hubacek, K. y Krausmann, F.

Fischer-Kowalski, M. 1998. Society's metabolism. The intellectual history of materials flow analysis, Part I, 1860–1970. *Journal of Industrial Ecology* Vol. 2 (1): 61–78.

Fischer-Kowalski, M. y H. Haberl. 2000. El metabolismo socioeconómico. *Ecología política* Vol. 19: 20-33.

Georgescu-Roegen, N. 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*. 4th. Edition. London: Harvard University Press.

Giljum, S. 2004. Trade, material flows and economic development in the South: the example of Chile. *Journal of Industrial Ecology* Vol. 8 (1-2): 241–261.

Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Weisz H. y V. Winiwarter. 2004. Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer. *Land Use Policy* Vol. 21:199–213.

Kapp, W. 1976. The open system character of the economy and its implications, en Dopfer, K. (eds) *Economics en the Future: towards a new paradigm*. London: MacMillan.

Larrain, S., Palacios, K. y M. Aedo., 2003. *Chile sustentable: propuesta ciudadana para el cambio*. Santiago de Chile: LOM Ediciones.

Leontief, W. 1970. Environmental repercussions and the economic structure: an input–output approach. *Review of Economics Statistics* Vol. 52 (3): 262–271.

Machado, J.A. 2001. *Material Flow Analysis in Brazil*. Internal Report (unpublished). Manaus.

Miller, R. y Blair, P. 1985. *Input–Output Analysis: Foundations and Extensions*. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Morales, J., 1986. Una matriz insumo-producto inversa de la economía chilena. Serie de estudios económicos N°36. Banco Central de Chile, Santiago, Chile.

Naciones Unidas. 2004. Informe sobre desarrollo humano. La libertad cultural en el mundo diverso. Publicado para el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Quiroga, R. y Van Hauwermeiren, S. 1996. *El tigre sin selva: Consecuencias ambientales de la transformación económica de Chile*. Santiago de Chile: Instituto de Ecología Política.



## Anexo 1

La formalización matemática es la siguiente. Es posible comenzar definiendo la producción de un determinado sector,  $x_j$ , como la suma de inputs de distintos sectores más el valor añadido,  $z$ , es decir:

$$x_1 = x_{11} + x_{21} + \dots x_{n1} + z_1$$

$$x_2 = x_{12} + x_{22} + \dots x_{n2} + z_2$$

### 1-1

$$x_n = x_{1n} + x_{2n} + \dots x_{nn} + z_n$$

Luego, es posible definir la proporción de insumos de cada sector que es necesaria para elaborar una unidad de producto,  $x_j$ :

$$1-2 \quad a_{ij} = x_{ij} / x_j \Leftrightarrow a_{ij} \cdot x_j = x_{ij}$$

donde  $a_{ij}$  se denomina coeficiente técnico. Alternativamente a 1-1, es posible reescribir la producción total de un sector,  $x_j$ , según los sectores que recibieron la producción y la demanda final, designada por “y”, entonces se tiene:

$$x_1 = x_{11} + x_{12} + x_{13} + \dots x_{1n} + y_1$$

$$x_2 = x_{21} + x_{22} + x_{23} + \dots x_{2n} + y_2$$

### 1-3

$$x_n = x_{n1} + x_{n2} + x_{n3} + \dots x_{nn} + y_n$$

El anterior sistema de ecuaciones, 1-3, puede ser, a su vez, reescrito en función de los coeficientes técnicos (utilizando ecuación 1-2), entonces queda:

$$x_1 = a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots a_{1n} \cdot x_n + y_1$$

$$x_2 = a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + \dots a_{2n} \cdot x_n + y_2$$

### 1-4

$$x_n = a_{n1} \cdot x_1 + a_{n2} \cdot x_2 + \dots a_{nn} \cdot x_n + y_n$$

y en notación matricial se tiene:

$$1-5 \quad x = A \cdot x + y$$

donde A es la matriz de coeficientes técnicos de producción. La ecuación 1-5, es posible reescribirla dejando la producción en función de la demanda final y los coeficientes técnicos:

$$1-6 \quad x = (I - A)^{-1} y$$

donde  $(I - A)^{-1}$  es conocida como la inversa de Leontief y expresa los requerimientos directos e indirectos de producción, para disponer de una unidad de demanda final de cada producto.

## Anexo 2

La solución a los problemas de la producción primaria y secundaria pasa por introducir hipótesis sobre las tecnologías de producción:

- “La hipótesis de “tecnología de producto” supone que la estructura de costos que permite obtener la producción de un determinado producto es la misma, sea cual sea la industria o sector donde se desarrolle la producción. Esto es, se trate de producción principal o secundaria, la estructura de costos no presenta modificaciones.
- La hipótesis de tecnología de industria supone que la producción de un determinado tipo de bien es la misma que la industria que la genera, sea producción principal o secundaria. De esa manera, la estructura de producción de una misma mercancía será distinta de acuerdo a la industria que lo produzca” (Morales, 1986).

Ante la necesidad de tener que inclinarse por una u otra hipótesis, se ha seguido la recomendación del Banco Central de Chile de utilizar la hipótesis de tecnología de industria (Banco Central de Chile, 2001b). Además, para introducir en el modelo los aspectos relativos a la producción primaria y secundaria es necesario definir las siguientes matrices:

**U:** es la matriz de utilización o absorción. Donde  $u_{ij}$  representa la cantidad de producto “m” que es absorbida por la industria “n”. Las dimensiones de U son  $m \times n$ .

**V:** es la matriz de producción y  $v_{ij}$  muestra la cantidad del producto “j” que es producida en la industria “i”. La dimensión de V es “ $n \times m$ ”.

**x:** es el vector de *outputs* totales correspondientes a la industria j. La dimensión es  $n \times 1$ .



**q**: corresponde al vector de producción por producto. La dimensión es de  $m \times 1$ .

**e**: es el vector de consumo final de productos. La dimensión es  $m \times 1$ .

**y**: es el vector de consumo final por industria. La dimensión es de  $n \times 1$ .

De las nuevas matrices introducidas es posible definir las siguientes relaciones:

2-1  $B = U <X>^{-1}$  (matriz de coeficientes técnicos, producto x actividades)

2-2  $D = V <Q>^{-1}$  (matriz de participación en el mercado por actividades)

2-3  $q = U i + e$

2-4  $x = V i$ .

2-5  $y = D e$

donde "i" es un vector columna de unos, de dimensión " $n \times 1$ ". Reemplazando 2-1 en 2-3 se tiene:

2-6  $q = B <X> i + e$

Luego, como  $V = D <Q>$  de 2-2 y  $x = V i$  de 2-4 se obtiene:

2-7  $q = B \cdot D \cdot q + e$

Reacomodando los términos queda:

2-8  $q = (I - BD)^{-1} e$

La ecuación 2-8 equivale a la inversa de Leontief (anteriormente ecuación 3-1) una vez subsanado el problema de la producción secundaria. Entonces,  $(I - BD)^{-1}$  captura los efectos directos e indirectos que se producen en "q" (producción total de productos), a partir de un cambio en la demanda final de productos. "BD" corresponde a la matriz de coeficientes técnicos producto-x-producto (antes llamada A). Para más detalles ver, por ejemplo, Millar et al. (1985) o Casler et al. (1984).